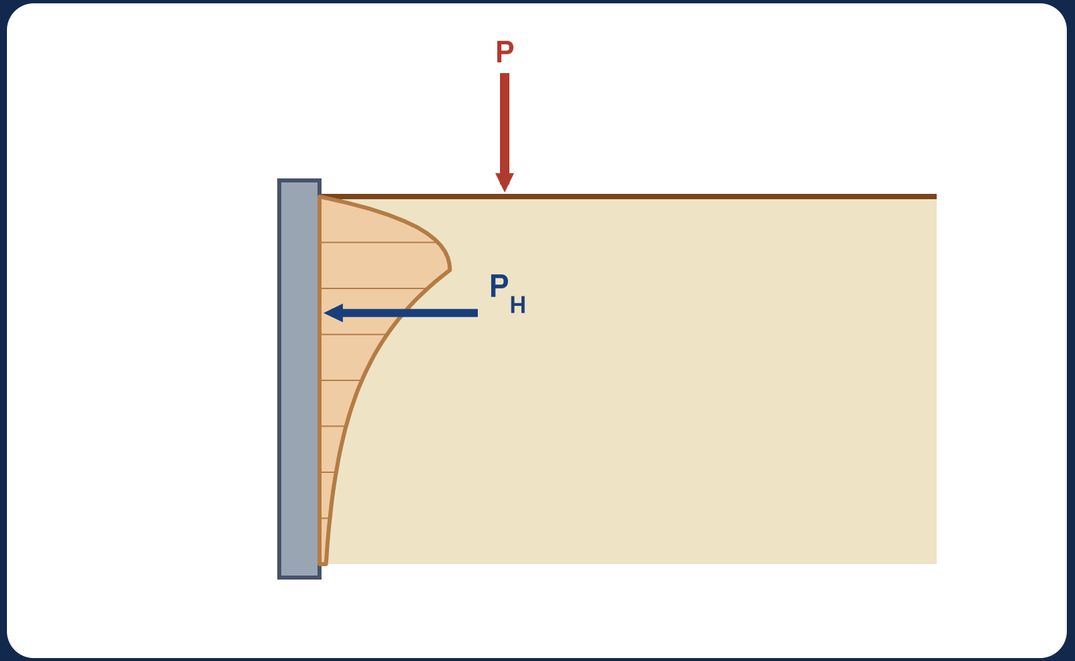
Geoteknik ders sunumu · Sürşarj yükleri

Çizgisel sürşarj yükü

Ders anlatımı: duvara paralel çizgisel yükün duvarda oluşturduğu yanal basınç; iki yöntem, bileşke ve etkime çizgisi, çözümlü örnekler.

- m = x/H · n = z/H
- Elastik rijit duvar
- Terzaghi–NAVFAC abağı
- $I_0 \cdot I_1$
- P_H ve z_R



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Çizgisel yükün **boyutsuz** geometrisini: yük uzaklığı **m = x/H** ve derinlik **n = z/H**
- **Elastik (rijit duvar)** çözümünü: yarı sonsuz ortam gerilmesinin iki katı; x_{min} = **0,30 m** kuralı
- **Terzaghi–NAVFAC abağını**: m > 0,4 ve m ≤ 0,4 durumları; 0,4H içinde uzaklığın etkisizliği
- Bileşkeyi $P_H = P \cdot I_0$ ve etkime çizgisini $z_R = H \cdot I_1/I_0$ kapalı ifadelerle
- İki yöntemin uzaklığa, duvar yüksekliğine ve yüke göre karşılaştırmasını

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: formül ve gerekçesi

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek duvar: H = 25 m, çizgisel yük P = 100 kN/m duvardan x = 5 m uzakta. Kuvvetler duvarın birim uzunluğu başınadır (kN/m).

Duvara etkiyen çizgisel yük

KURAM

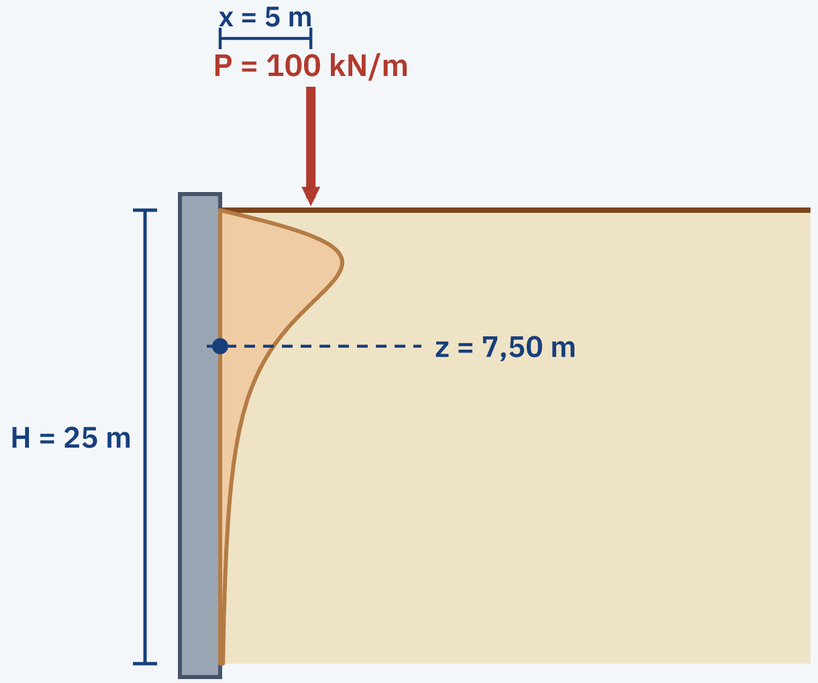
Duvara paralel, birim uzunluk başına kuvvet olarak verilen bir yüzey çizgisel yükü **P**, duvardan **x** yatay uzaklığındadır

Yanal sürşarj basıncı, boyutsuz yük uzaklığı **m = x/H** ile boyutsuz duvar derinliği **n = z/H** değerlerine bağlıdır

Modül iki yöntem sunar: **elastik (rijit duvar)** çözümü ve **Terzaghi–NAVFAC abağı**

$$m = \frac{x}{H}, \qquad n = \frac{z}{H}$$

P — duvara paralel, birim uzunluk başına yüzey çizgisel yükü
x = mH — duvardan yüke yatay uzaklık; **z = nH** — yüzeyden itibaren derinlik
σ_H, P_H, z_R — yanal basınç, bileşke kuvvet, bileşkenin yüzeyden derinliği



Rijit duvar: elastik gerilmenin iki katı

KURAM

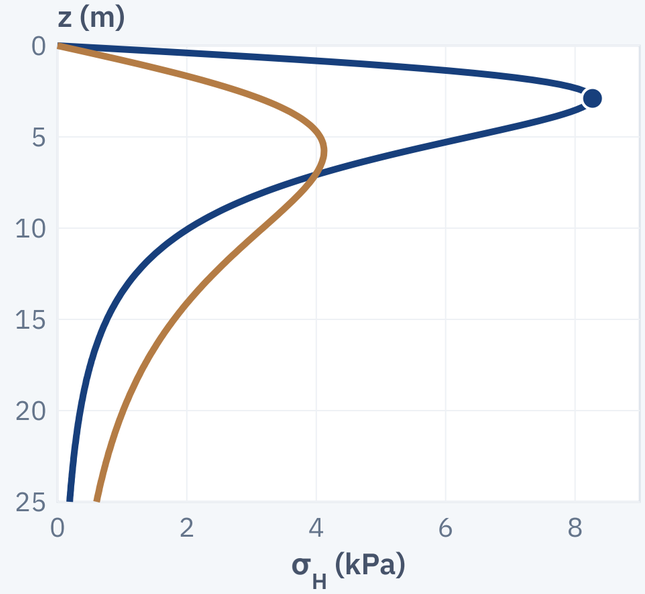
Elastik yarı sonsuz ortamda çizgisel yükün oluşturduğu yatay gerilmenin (Flamant, Boussinesq) **iki katıdır**: yerdeğiştirmeyen duvar, yüzündeki zeminin hareketini engeller

Her uzaklık için geçerlidir; en büyük basınç **n = m/√3** derinliğindedir

x_{min} = 0,30 m'den yakın bir yük bu uzaklıkta hesaplanır: en büyük basınç yük duvara yaklaştıkça sınırsız artar (bileşke sonlu kalır)

$$\sigma_H = \frac{4P}{\pi H} \cdot \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2}$$

Elastik profil (m = 0,2)



Durum 1 (m ≤ 0,4) ve Durum 2 (m > 0,4)

KURAM

m > 0,4 için elastik çözümle **aynı denklem**; **m ≤ 0,4** için diyagram m = 0,4'te **sabit tutulur** (m içermeyen Durum 1)

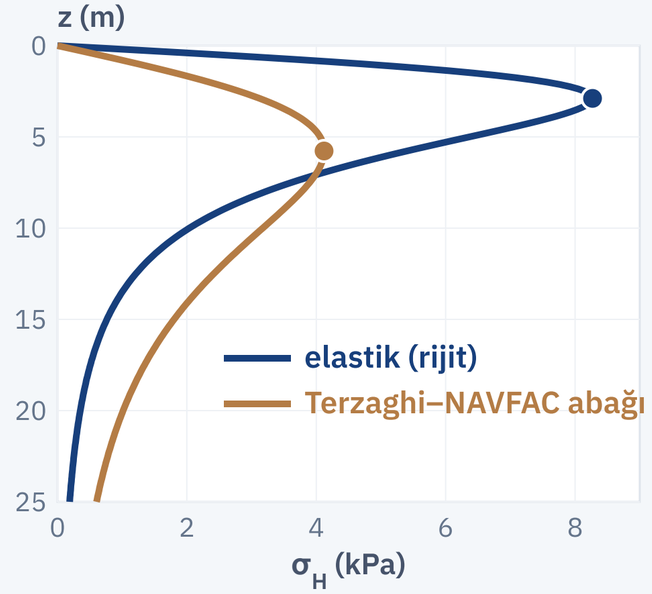
0,203 katsayısı 4 × 0,16/π değerinin yuvarlatılmış hâlidir; bu nedenle **0,4H içinde uzaklığın etkisi yoktur**

Belirli bir model için m sabittir; n derinlikle değişir

$$\sigma_H = \frac{P}{H} \cdot \frac{0{,}203\, n}{(0{,}16 + n^2)^2} \qquad m \le 0{,}4 \text{ (Durum 1)}$$

$$\sigma_H = \frac{4P}{\pi H} \cdot \frac{m^2\, n}{(m^2 + n^2)^2} \qquad m > 0{,}4 \text{ (Durum 2)}$$

İki yöntemin profili (m = 0,2)



Alan, birinci moment ve I_0, I_1

KURAM

Her iki yöntemde **bileşke diyagramın alanı**, yüzeyden derinliği **birinci momentin dengelendiği noktadır**; σ_H n'nin fonksiyonu yazılınca yük ve yükseklik integralin dışına çıkar

Elastik ve abakta **m > 0,4** için kapalı ifadeler; abak bileşkesi ≈ 0,64P/(1 + m²). **m ≤ 0,4** abağı: I_0 = 0,5469 (abağın 0,55P değeri)

$$P_H = \int_0^H \sigma_H \, dz = P\, I_0 \qquad z_R = \frac{\int_0^H z\, \sigma_H \, dz}{P_H} = H\, \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1+m^2} \qquad I_1 = \frac{2}{\pi}\left[m \tan^{-1}\frac{1}{m} - \frac{m^2}{1+m^2}\right]$$

$$I_0 = 0{,}1015\left(\tfrac{1}{0{,}16} - \tfrac{1}{1{,}16}\right) = 0{,}5469 \qquad I_1 = 0{,}203\left[\frac{\tan^{-1} 2{,}5}{0{,}8} - \frac{1}{2{,}32}\right] \quad (m \le 0{,}4)$$

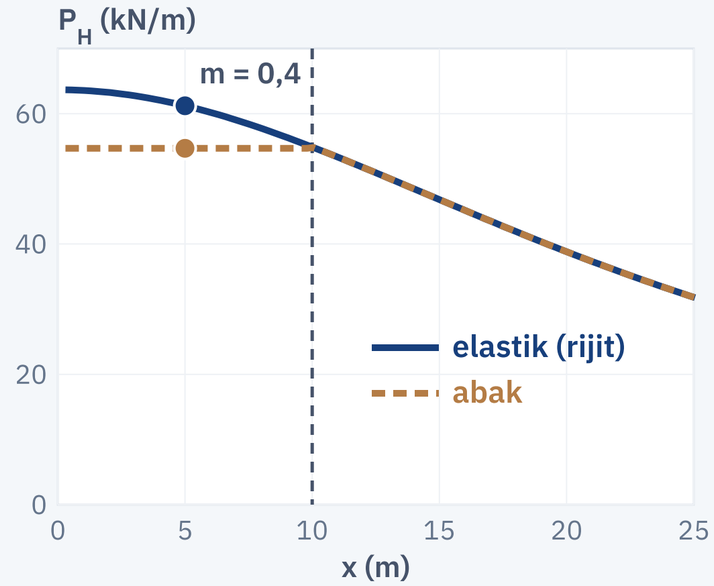
Bileşke ve etkime çizgisi, yük uzaklığıyla

KURAM

x (m)	m	P_H elastik	z_R elastik	P_H abak	z_R abak	Durum
0,50	0,020	63,64	0,77	54,69	9,81	Durum 1
1,00	0,040	63,56	1,49	54,69	9,81	Durum 1
2,00	0,080	63,26	2,84	54,69	9,81	Durum 1
5,00	0,200	61,21	6,14	54,69	9,81	Durum 1
8,00	0,320	57,75	8,56	54,69	9,81	Durum 1
10,00	0,400	54,88	9,81	54,69	9,81	Durum 1
12,50	0,500	50,93	11,05	50,93	11,05	Durum 2
15,00	0,600	46,81	12,02	46,81	12,02	Durum 2
25,00	1,000	31,83	14,27	31,83	14,27	Durum 2

m ≤ 0,4: abak aynı P_H ve z_R'yi verir; elastik çözüm yük yaklaştıkça P_H değerini artırır ve z_R değerini yukarı çeker

m > 0,4: iki yöntem aynı sonucu verir



Soru

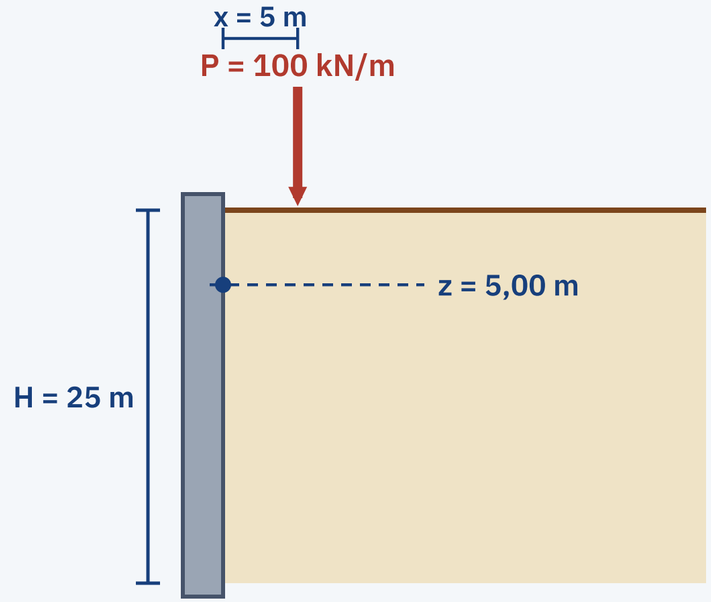
SORU

Verilenler

Duvar ve yük	$H = 25{,}00$ **m; çizgisel yük** $P = 100{,}0$ **kN/m,** $x = 5{,}00$ **m**
Derinlik	$z = 5{,}00$ **m**

İSTENEN

m, **n** ve σ_H: önce elastik (rijit duvar), sonra Terzaghi–NAVFAC abağı.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Oranlar

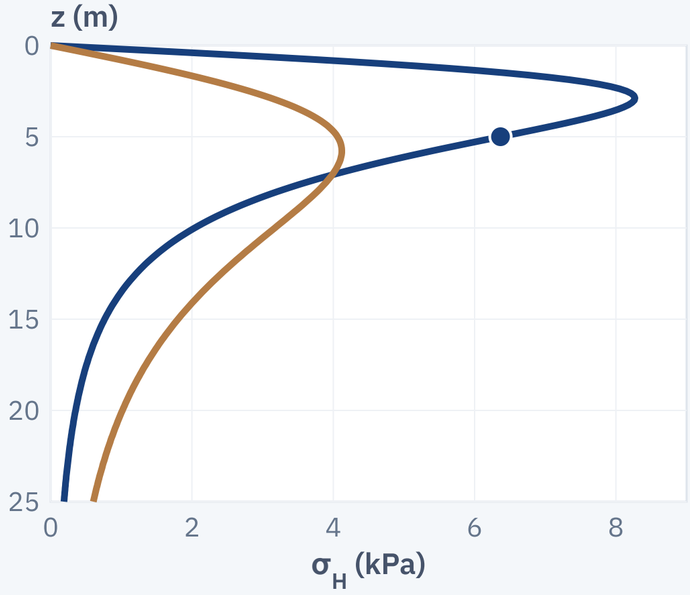
$$m = \frac{x}{H} = \frac{5}{25} = \mathbf{0{,}20} \qquad n = \frac{z}{H} = \frac{5}{25} = \mathbf{0{,}20}$$

2 Elastik (rijit duvar) basınç

$$\sigma_H = \frac{4 \times 100}{\pi \times 25}\left[\frac{0{,}20^2 \times 0{,}20}{(0{,}20^2 + 0{,}20^2)^2}\right]$$

$$\sigma_H = 5{,}0930 \times 1{,}25 = \mathbf{6{,}37}\ \mathrm{kPa}$$

z = 5 m'de elastik çözümle **6,37 kPa**. Bu derinlik en büyük basıncın (8,27 kPa, z = 2,89 m) altındadır; profil derinlikle hızla söner.



Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Durum seçimi

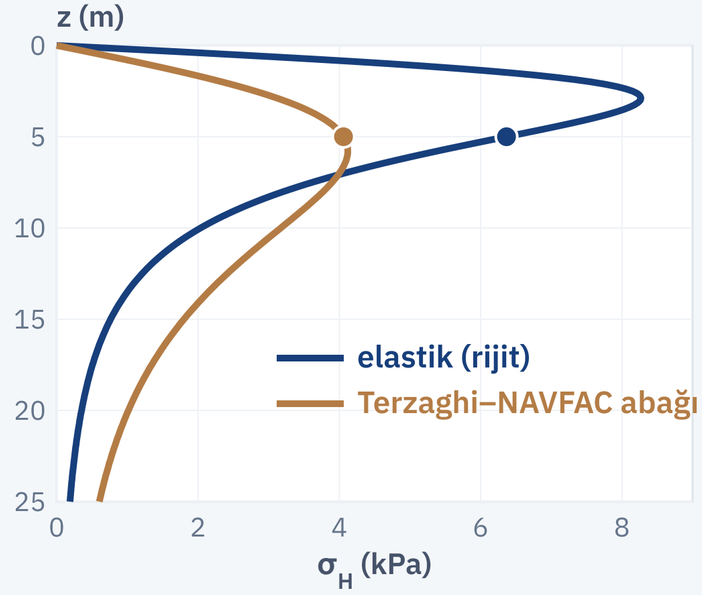
$$m = 0{,}20 \leq 0{,}4 \;\Rightarrow\; \text{Durum 1 (diyagram } m = 0{,}4\text{'te sabit)}$$

4 Abak basıncı

$$\sigma_H = \frac{100}{25}\left[\frac{0{,}203 \times 0{,}20}{(0{,}16 + 0{,}20^2)^2}\right]$$

$$\sigma_H = 4{,}00 \times 1{,}015 = \mathbf{4{,}06}\ \text{kPa}$$

Abak **4,06 kPa**, elastik çözüm **6,37 kPa**: bu derinlikte abak elastik değerin %64'ü kadardır. Abak, yakın yükte basıncı derinliğe yayar.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Duvar ve yük	$H = 25{,}00$ **m,** $P = 100{,}0$ **kN/m,** $x = 5{,}00$ **m** $(m = 0{,}20)$
Derinlikler	$z = 0$ **–** 25 **m, her** $2{,}5$ **m**

İSTENEN

σ_H profili (iki yöntem); **en büyük basınç** ve derinliği.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

z (m)	n = z/H	σ_H elastik (kPa)	σ_H abak (kPa)
0,00	0,00	0,000	0,000
2,50	0,10	8,149	2,810
5,00	**0,20**	**6,366**	**4,060**
7,50	0,30	3,616	3,898
10,00	0,40	2,037	3,172
12,50	0,50	1,211	2,415
15,00	0,60	0,764	1,802
17,50	0,70	0,508	1,345
20,00	0,80	0,352	1,015
22,50	0,90	0,254	0,777
25,00	1,00	0,188	0,603

Elastik basınç yüzeyden hemen sonra en büyük değerine çıkar ve derinlikle azalır; abak daha düzgün bir profil verir ve daha derinde zirve yapar. z = 5,00 m satırı Örnek 1'dir.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 Elastik: tepe n = m/√3

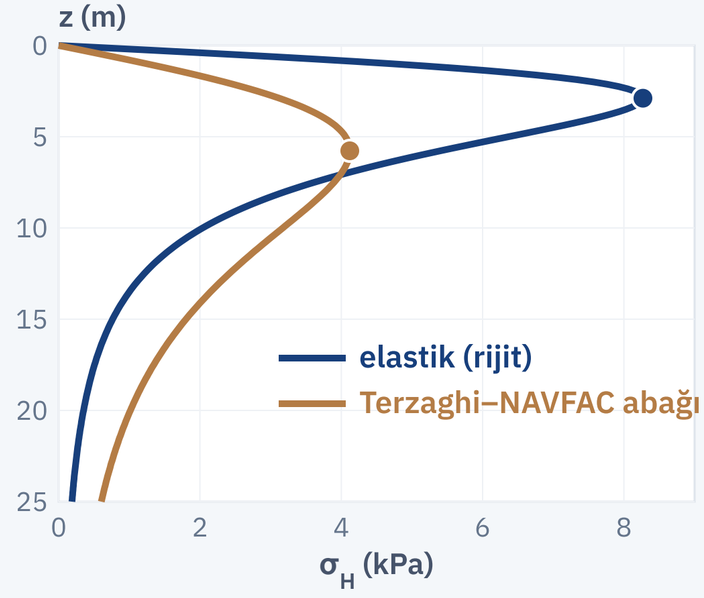
$$n = \frac{m}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}20}{1{,}7321} = 0{,}11547 \;\Rightarrow\; z = nH = \mathbf{2{,}887}\ \text{m}$$

$$\sigma_{H,max} = \frac{9P}{4\sqrt{3}\,\pi\, x} = \frac{9 \times 100}{4(1{,}7321)\pi(5)} = \mathbf{8{,}270}\ \text{kPa}$$

2 Abak (Durum 1): tepe n = 0,4/√3

$$n = \frac{0{,}4}{\sqrt{3}} = 0{,}23094 \;\Rightarrow\; z = \mathbf{5{,}774}\ \text{m}$$

$$\sigma_{H,max} = 4\left[\frac{0{,}203 \times 0{,}23094}{(0{,}16 + 0{,}05333)^2}\right] = \mathbf{4{,}120}\ \text{kPa}$$



Elastik zirve **8,27 kPa** (z = 2,89 m), abak zirvesi **4,12 kPa** (z = 5,77 m): elastik çözüm duvarın üst kısmına yoğunlaşır, abak aşağıda ve yarısı kadar bir zirve verir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

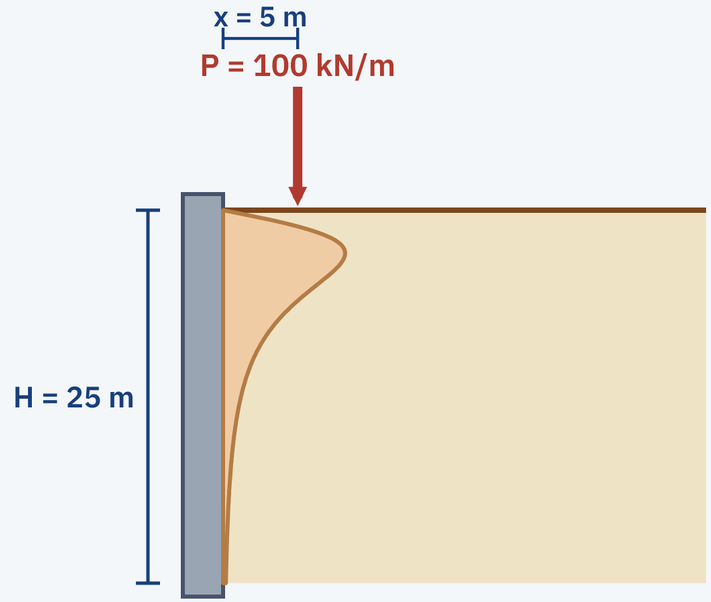
SORU

İSTENEN

$\mathbf{I_0}$, $\mathbf{I_1}$, bileşke $\mathbf{P_H}$, $\mathbf{z_R}$ ve tabandan yüksekliği (iki yöntem için).

Verilenler

Duvar ve yük	$H = 25{,}00$ **m,** $P = 100{,}0$ **kN/m,** $x = 5{,}00$ **m**
Yöntemler	**elastik (rijit duvar) ve Terzaghi–NAVFAC abağı**



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 I_0 (alan)

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1+m^2} = \frac{0{,}63662}{1+0{,}20^2} = \mathbf{0{,}61213}$$

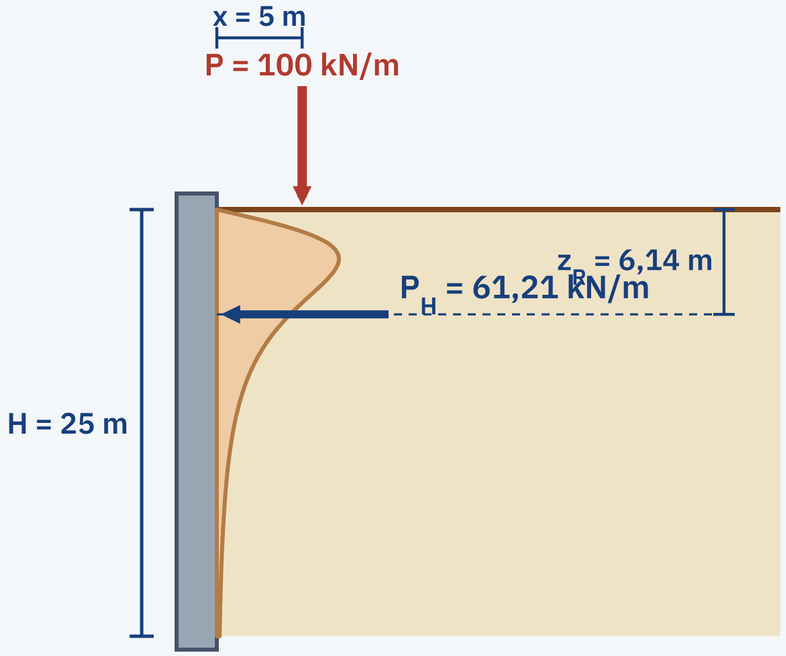
2 I_1 (moment): $(2/\pi)[m\tan^{-1}(1/m) - m^2/(1+m^2)]$

$$I_1 = 0{,}63662\,[0{,}20(1{,}37340) - 0{,}03846] = \mathbf{0{,}15038}$$

3 Bileşke ve etkime çizgisi

$$P_H = P\,I_0 = 100 \times 0{,}61213 = \mathbf{61{,}21}\ \mathrm{kN/m}$$

$$z_R = H\frac{I_1}{I_0} = 25 \times \frac{0{,}15038}{0{,}61213} = \mathbf{6{,}14}\ \mathrm{m}$$



Elastik: **P_H = 61,21 kN/m**, yüzeyin **6,14 m** altında (tabandan 18,86 m).

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

4 I_0 ve I_1 (m ≤ 0,4, Durum 1)

$$I_0 = 0{,}1015\left(\frac{1}{0{,}16} - \frac{1}{1{,}16}\right) = \mathbf{0{,}5469}$$

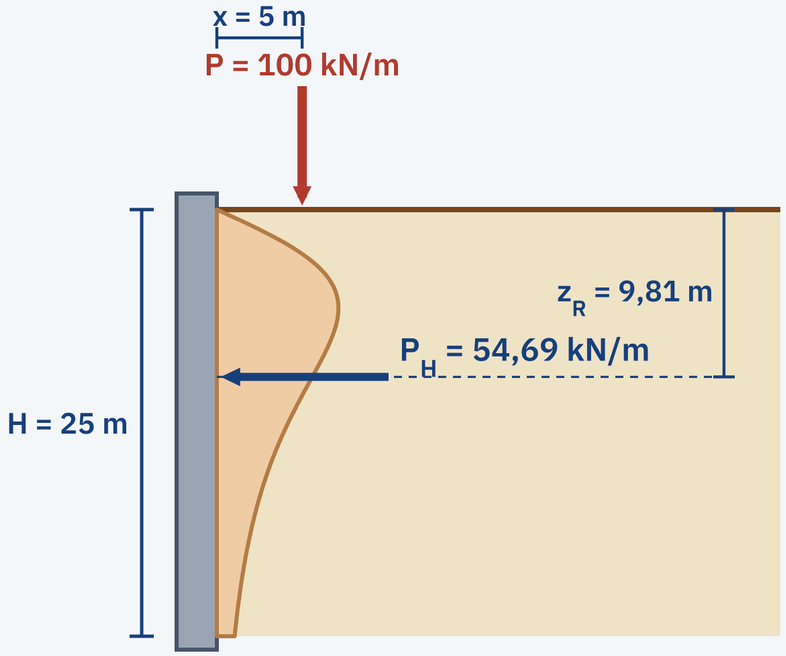
$$I_1 = 0{,}203\left[\frac{\tan^{-1} 2{,}5}{0{,}8} - \frac{1}{2{,}32}\right]$$

$$I_1 = 0{,}203\,[1{,}48786 - 0{,}43103] = \mathbf{0{,}21454}$$

5 Bileşke ve etkime çizgisi

$$P_H = 100 \times 0{,}5469 = \mathbf{54{,}69}\ \mathrm{kN/m}$$

$$z_R = 25 \times \frac{0{,}21454}{0{,}5469} = \mathbf{9{,}81}\ \mathrm{m}$$



Abak: **P_H = 54,69 kN/m**, **z_R = 9,81 m**. Elastik çözüme göre bileşke %10,7 daha küçük, etkime çizgisi 3,67 m daha aşağıdadır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Duvar ve yük	$H = 25{,}00$ **m,** $P = 100{,}0$ **kN/m**
Uzaklıklar	$x = 0{,}5;\ 1;\ 2;\ 5;\ 8;\ 10;\ 12{,}5;\ 15;\ 25$ **m**

İSTENEN

İki yöntem için $\mathbf{P_H}$ ve $\mathbf{z_R}$; **x = 12,5 m** için elle kontrol.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

x (m)	m	P_H elastik (kN/m)	z_R elastik (m)	P_H abak (kN/m)	z_R abak (m)	Durum
0,50	0,020	63,64	0,77	54,69	9,81	Durum 1
1,00	0,040	63,56	1,49	54,69	9,81	Durum 1
2,00	0,080	63,26	2,84	54,69	9,81	Durum 1
5,00	**0,200**	**61,21**	**6,14**	**54,69**	**9,81**	**Durum 1**
8,00	0,320	57,75	8,56	54,69	9,81	Durum 1
10,00	0,400	54,88	9,81	54,69	9,81	Durum 1
12,50	0,500	50,93	11,05	50,93	11,05	Durum 2
15,00	0,600	46,81	12,02	46,81	12,02	Durum 2
25,00	1,000	31,83	14,27	31,83	14,27	Durum 2

x ≤ 10 m (m ≤ 0,4): abak 54,69 kN/m ve 9,81 m verir, uzaklık etkisizdir; elastik bileşke yük uzaklaşırken yavaşça azalır (63,64 → 54,88 kN/m) ve etkime çizgisi derinleşir. **m > 0,4**: iki yöntem aynıdır.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 Oran ve durum

$$m = \frac{12{,}5}{25} = \mathbf{0{,}50} > 0{,}4 \;\Rightarrow\; \text{abak Durum 2: elastik çözümle aynı denklem}$$

2 I_0 ve I_1

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1 + 0{,}50^2} = \frac{0{,}63662}{1{,}25} = \mathbf{0{,}50930}$$

$$I_1 = 0{,}63662\,[0{,}50(1{,}10715) - 0{,}2] = \mathbf{0{,}22509}$$

3 Bileşke ve etkime çizgisi

$$P_H = 100 \times 0{,}50930 = \mathbf{50{,}93}\ \text{kN/m} \qquad z_R = 25 \times \frac{0{,}22509}{0{,}50930} = \mathbf{11{,}05}\ \text{m}$$

x = 12,5 m için iki yöntem de **50,93 kN/m** ve **11,05 m** verir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Duvar ve yük	$H = 25{,}00$ **m,** $P = 100{,}0$ **kN/m**
Yakın yük	$x = 0{,}05;\ 0{,}1;\ 0{,}2;\ 0{,}3;\ 0{,}5;\ 1$ **m**
Sınır	**abak:** $x = 9{,}99;\ 10;\ 10{,}01$ **m (**$0{,}4H = 10$ **m)**

İSTENEN

$\mathbf{x_{min}}$ kuralının etkisi; elastik en büyük basınç; abağın m = 0,4 sınırındaki davranışı.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

x (m)	hesap x (m)	P_H elastik (kN/m)	z_R elastik (m)	$\sigma_{H,max}$ elastik (kPa)	z (m)	P_H abak (kN/m)
0,05	**0,30**	63,65	0,46	137,8	0,17	54,69
0,10	**0,30**	63,65	0,46	137,8	0,17	54,69
0,20	**0,30**	63,65	0,46	137,8	0,17	54,69
0,30	0,30	63,65	0,46	137,8	0,17	54,69
0,50	0,50	63,64	0,77	82,7	0,29	54,69
1,00	1,00	63,56	1,49	41,3	0,58	54,69

x < 0,30 m olan yük 0,30 m'de hesaplanır: bileşke, etkime çizgisi ve en büyük basınç 0,30 m'deki değerle aynıdır; elastik zirve bu uzaklıkta **137,8 kPa**'a (z = 0,17 m) çıkar. Abak her uzaklıkta 54,69 kN/m verir.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 0,203 ve 4 × 0,16/π

$$\frac{4 \times 0{,}16}{\pi} = 0{,}2037 \approx 0{,}203 \Rightarrow \frac{I_0(m = 0{,}4^+)}{I_0(\text{Durum 1})} = \frac{0{,}63662/1{,}16}{0{,}5469} = \mathbf{1{,}0033}$$

2 Abak bileşkesi sınırın iki yanında

x (m)	m	Durum	P_H abak (kN/m)	z_R abak (m)
9,99	0,3996	Durum 1	54,6875	9,8074
10,00	0,4000	Durum 1	54,6875	9,8074
10,01	0,4004	Durum 2	54,8659	9,8130

Yuvarlama nedeniyle bileşke m = 0,4 sınırını geçerken yaklaşık **%0,33** sıçrar (54,69 → 54,87 kN/m); etkime çizgisi 9,807 → 9,813 m. Sıçrama küçüktür; abağın yayımlanmış katsayısı korunur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Yük	$P = 100{,}0$ **kN/m,** $x = 5{,}00$ **m**
Yükseklik	$H = 5,\ 10,\ 25,\ 50,\ 100$ **m**
Yük şiddeti	$P = 50,\ 100,\ 200$ **kN/m (**$H = 25$ **m)**

İSTENEN

Her iki yöntem için $\mathbf{P_H}$ ve $\mathbf{z_R}$; P ve H'nin etkisi.

Çözüm

ÇÖZÜM

H (m)	m	P_H elastik	z_R elastik	P_H abak	z_R abak	Durum
5	1,000	31,83	2,85	31,83	2,85	Durum 2
10	0,500	50,93	4,42	50,93	4,42	Durum 2
25	0,200	61,21	6,14	54,69	9,81	Durum 1
50	0,100	63,03	6,93	54,69	19,61	Durum 1
100	0,050	63,50	7,37	54,69	39,23	Durum 1

Yüksek duvarda m küçülür: elastik P_H 0,64P'ye yaklaşır; abak P_H değişmez (0,5469P), z_R ise H ile büyür.

P (kN/m)	P_H elastik	P_H abak	z_R elastik	z_R abak
50	30,61	27,34	6,14	9,81
100	61,21	54,69	6,14	9,81
200	122,43	109,38	6,14	9,81

P ile bileşke **doğrusal** artar; z_R P'den bağımsızdır (elastik · abak).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

m = x/H, **n = z/H**; elastik (rijit duvar): $\boldsymbol{\sigma_H = (4P/\pi H)\, m^2 n/(m^2 + n^2)^2}$, zirve n = m/√3; $\boldsymbol{x_{min} = 0{,}30\ m}$

Abak: m > 0,4 aynı denklem; **m ≤ 0,4** için $\sigma_H = (P/H)\ 0{,}203\ n/(0{,}16 + n^2)^2$, uzaklık etkisiz

Örnek (H = 25 m, x = 5 m, P = 100 kN/m): z = 5 m'de elastik 6,37, abak 4,06 kPa; en büyük basınç 8,27 kPa (z = 2,89 m) ve 4,12 kPa (z = 5,77 m)

Bileşke $P_H = P \cdot I_0$, $\boldsymbol{z_R = H \cdot I_1/I_0}$: elastik 61,21 kN/m ve 6,14 m; abak 54,69 kN/m ve 9,81 m

Karşılaştırma: 0,4H ötesinde iki yöntem aynı; içinde elastik bileşke yük yaklaştıkça artar, abak sabittir

Kaynaklar

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; bu sayfa bu kaynağı izlemektedir.

Terzaghi, K. (1954). Anchored bulkheads. Transactions of the ASCE, 119, 1243–1280.

NAVFAC DM-7.02 (1986). Foundations and Earth Structures. Naval Facilities Engineering Command.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modülün açılış duvarı H = 25 m, x = 5 m ve P = 100 kN/m'dir (elastik yöntem).

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi duvarınızı, çizgisel yükünüzün şiddetini ve uzaklığını GeoTerva'da girin; modül basınç profilini, bileşkeyi ve etkime çizgisini iki yöntemle, adım adım çözümü ve raporu birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com